

## **Equação de Volume Local para a *Pinus pinaster* Aiton na Serra da Lousã**

**João Freire\*, Margarida Tomé\*\* e Mário Tavares\*\*\***

\* Engenheiro Florestal

\*\*\* Investigador Principal

Estação Florestal Nacional. Departamento de Silvicultura e Produtos Florestais.  
Quinta do Marquês, Av. da República, 2790-159 OEIRAS

\*\* Professora Catedrática

Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Engenharia Florestal. Tapada da Ajuda, 1349-107 LISBOA

**Sumário:** Este trabalho tem por objectivo seleccionar uma equação de volume a nível da árvore individual para utilizar na cubagem de árvores de *Pinus pinaster* Aiton localizadas no Núcleo Florestal da Oitava, na Serra da Lousã.

Ao nível da árvore, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos seleccionados na fase de ajustamento, que se revelam acima dos 97%, demonstram uma elevada relação entre a variável volume ( $v$ ) e as variáveis explanatórias diâmetro à altura do peito ( $d$ ) e altura total ( $h$ ).

O modelo final obtido apresenta um valor do coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ) de 97,9%.

**Palavras-chave:** *Pinus pinaster* Aiton.; equação de volume local; modelo; Lousã

**Abstract:** The aim of this paper is to select an individual tree volume equation to be used for volume estimation of *Pinus pinaster* Aiton trees from Oitava Forest, in Serra da Lousã.

At the tree level, determination coefficients ( $R^2$ ) of the selected models taking values up from 97%, show a strong relationship between individual tree volume ( $v$ ) and the explanatory variables – diameter at breast height ( $d$ ) and total height ( $h$ ).

Final model presents an adjusted determination coefficient ( $R_{aj}^2$ ) of 97.9%.

**Key words:** *Pinus pinaster* Aiton; local volume equation; model; Lousã

**Résumé:** L'objectif de ce travail est de sélectionner une équation de volume au niveau de l'arbre individuel et de l'utiliser pour le cubage des arbres de *Pinus pinaster* Aiton situé dans la Noyau Forestier de la Oitava – Serra da Lousã.

Au niveau de l'arbre, les coefficients de détermination ( $R^2$ ) des modèles sélectionnés supérieurs à 97%, démontrent un rapport élevé entre la variable volume ( $v$ ) et les variables régressives – diamètre hauteur poitrine ( $d$ ) et hauteur totale ( $h$ ).

Le modèle final présente une valeur du coefficient de détermination ajusté ( $R_{aj}^2$ ) de l'ordre de 97.9%.

**Mots clés:** *Pinus pinaster* Aiton.; équation local de volume; modèle; Lousã

## Introdução

O conhecimento do volume total da árvore individual sobre casca é de enorme importância para o produtor florestal. Ele permite avaliar, com razoável rigor, o rendimento esperado quando dum desbaste, do corte raso numa mata ou apenas de uma avaliação instantânea de existência.

Uma vez que é uma variável de difícil medição directa, é necessário proceder-se à sua estimação. Para o efeito, procede-se geralmente à selecção de equações que estimem o volume da árvore em função de variáveis de mais fácil medição e de recolha pouco dispendiosa; é o caso do diâmetro à altura do peito e da altura total (TOMÉ, 1990; ALEGRIA, 1993).

Diferentes condições de clima e de solo influenciam o crescimento e a relação entre as variáveis da árvore. Desta forma, a criação por parte dos modeladores de modelos baseados em dados de um povoamento ou de uma região sujeita a condições uniformes de clima e de solo, permite o fornecimento aos produtores florestais de ferramentas que permitam a estimação mais exacta das variáveis nesse povoamento ou região.

Assim, este trabalho tem como objectivo propor uma equação de volume local a utilizar na cubagem de árvores de *Pinus pinaster* Aiton localizadas no Núcleo Florestal da Oitava (Serra da Lousã), assim como representá-la de forma gráfica e tabular que permitam, de forma expedita, a sua utilização.

## Dados

Os dados dendrométricos necessários à construção da equação de estimativa do volume foram recolhidos num povoamento

instalado em 1974, por sementeira directa, pela Direcção Geral das Florestas no Perímetro Florestal da Oitava. Em 1996 o povoamento foi sujeito a uma limpeza e em 1999 a um desbaste.

Os dados dendrométricos aqui utilizados foram recolhidos em árvores inteiras, abatidas ou tombadas no interior das parcelas de um ensaio de desbastes instalado em 1998 pela Estação Florestal Nacional no âmbito do projecto PRAXIS 2120 e nas suas imediações. Naquele ensaio, constituído por 10 parcelas repartidas por 2 blocos casualizados, foram considerados 3 graus de desbaste pelo baixo, controlados pela área basal residual por hectare, por uma parcela regional, em que a intensidade e a periodicidade do desbaste é da responsabilidade dos Serviços Florestais locais, e por uma parcela testemunha, em não se realiza nenhuma intervenção para além da remoção das árvores mortas em consequência do auto-desbaste.

O ensaio foi medido em 1998 aquando da instalação, em 1999 imediatamente antes da aplicação do desbaste, que ocorreu em Setembro desse ano, e em 2000. Na totalidade dos anos foram medidas, entre outras variáveis, o diâmetro à altura do peito e a altura total em todas as árvores das parcelas.

Em 1999, em cada parcela de tratamento e de entre os pinheiros para sair em desbaste, foram seleccionadas 2 árvores representativas do valor central de cada uma das classes de diâmetro de 5, 10, 15 e 20 cm. Estas árvores, na altura da medição do ensaio, foram abatidas e cubadas.

Em Outubro de 2000 fortes ventos causaram a queda de inúmeras árvores na região. Quando da medição do ensaio em Dezembro de 2000, foram

seleccionadas todas as árvores caídas no interior do ensaio, bem como as de maior porte situadas nas suas imediações.

Obteve-se, com estes dois conjuntos de dados, uma amostra representativa do leque de dimensões dos indivíduos presentes no povoamento.

Nas 46 árvores seleccionadas mediu-se o diâmetro sobre casca de dois em dois metros, o diâmetro à altura do peito e a altura total. O Quadro 1 apresenta uma caracterização resumida dos dados disponíveis.

## Metodologia

### *Estatísticas utilizadas na avaliação dos modelos*

Na selecção da melhor equação de volume foram avaliadas a qualidade de ajustamento, a existência de colinearidade e a capacidade preditiva.

A qualidade de ajustamento dos modelos lineares e não lineares candidatos foi avaliada com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ).

A existência de colinearidade foi detectada, nos modelos lineares, com base no factor de inflação da variância (*FIV*) e no número de condição da matriz de correlação dos regressores  $X'X$  (*NCOND*); nos modelos não lineares a partir da análise da matriz de correlação assintótica dos coeficientes das variáveis regressoras.

A capacidade preditiva dos modelos lineares e não lineares foi avaliada a partir da média dos resíduos *Press* (*MPress*) e da média dos valores absolutos dos resíduos *Press* (*MAPress*). Estas estatísticas avaliam respectivamente o enviesamento e a precisão do modelo.

Procedeu-se à transformação das estatísticas dos modelos de variável dependente logaritmo do volume em termos das unidades iniciais, por forma a permitir a comparação com as estatísticas dos restantes modelos.

### *Procedimento para a selecção dos modelos candidatos*

Relativamente aos modelos lineares testou-se, como variável dependente, o volume e o logaritmo do volume total das árvores. Para cada uma das variáveis dependentes realizou-se inicialmente uma análise combinatória das variáveis independentes, das suas transformadas (logaritmo, inverso, etc.) e de produtos entre elas, de modo a seleccionar modelos correspondendo a sub-conjuntos das variáveis independentes que melhor explicaram as variáveis dependentes.

Foram seleccionados os modelos lineares com qualidade de ajustamento mais elevada, sempre que apresentaram colinearidade reduzida, ou seja, sempre que *NCOND* e *FIV* eram inferiores a 1000 e a 15 respectivamente. Os melhores modelos logarítmicos foram também ajustados sob a forma não linear.

**Quadro 1** - Caracterização dos dados considerados

Variável	Nº	Média	DPadrão	Mínimo	Máximo
<i>d</i> (cm)	46	15,9	5,1	4,6	27,1
<i>h</i> (m)	46	11,0	2,5	4,8	15,8
<i>v</i> (dm³)	46	129,4	86,1	6,1	396,9

Os modelos não lineares testados foram ajustados através da rotina *NLIN* do SAS. Verificou-se, para cada modelo, os intervalos de confiança dos parâmetros ( $\beta_i$ ) como forma de testar a hipótese  $H_0: \beta_i = 0$ . Sempre que um intervalo de confiança para um  $\beta_i$  continha o valor 0 não foi rejeitada  $H_0$  e o modelo foi de novo ajustado sem a variável associada a este  $\beta_i$ .

De entre os modelos com elevada qualidade de ajustamento e reduzida colinearidade foram considerados os que apresentaram melhor capacidade de ajustamento ou seja *MPress* e *MAPress* mais reduzidos. São os modelos seleccionados.

Para o efeito, seleccionou-se o modelo com  $R_{aj}^2$  mais elevado ( $Max R_{aj}^2$ ), subtraiu-se os  $R_{aj}^2$  dos diversos modelos aquele  $Max R_{aj}^2$  ( $difR_{aj}^2$ ). Seleccionou-se também o modelo com menor valor absoluto de *MPress* (*MinMPress*) e subtraiu-se este valor aos valores absolutos dos *MPress* dos restantes modelos (*difMPress*). Para os *MAPress* seguiu-se a metodologia usada para os *MPress* resultando, deste modo, os *difMAPress*. Adicionou-se em cada modelo  $difR_{aj}^2$  com *difMPress* e *difMAPress* com as ponderações 1, 2 e 3 respectivamente (*Tdif*). Estas ponderações permitiram atribuir importância crescente à qualidade de ajustamento, enviesamento e precisão.

Passaram então à fase seguinte os modelos com menor *Tdif*.

#### *Seleção do modelo final*

A selecção do modelo final compreendeu os seguintes passos:

- Determinação, para cada modelo, da média do valor absoluto dos resíduos *Press* por classe de diâmetro (*dMPress*).

- Em cada classe de diâmetro a selecção do modelo com menor *dMPress* (*MindMPress*).

- Cálculo do *DifdMPress* dos modelos seleccionados pela diferença, em cada classe de diâmetro, entre o *MindMPress* e os *dMPress*.

- Somatório dos *DifdMPress* das diversas classes de diâmetro (*SDifdMPress*).

- Caracterização dos *MPress* por classe de altura com base na metodologia anterior, resultando o *SDifhMPress*.

- Por forma a garantir a valorização da precisão dos modelos relativamente ao enviesamento, atribuiu-se a ponderação 2 aos *SDifdMPress* e *SDifhMPress* e a ponderação 3 aos *SDifdMAPress* e *SDifhMAPress*.

- Cálculo do *TDifMPress* pelo somatório do *SDifdMPress* com o *SDifhMPress*.

O modelo com menor *TDifMPress* foi considerado o modelo com menor enviesamento.

Para os *MAPress* procedeu-se de igual forma.

Seleccionou-se o modelo com menores *TDifMPress* e *TDifMAPress*.

## **Resultados e discussão**

### *Modelos candidatos*

Os modelos testados, do tipo linear, tiveram origem no algoritmo de todas as regressões possíveis disponíveis no procedimento PROC REG do SAS. Testaram-se duas variáveis dependentes, volume e logaritmo do volume, e as seguintes variáveis independentes:  $d$ ,  $d^2$ ,  $1/d$ ,  $\log(d)$ ,  $\sqrt{d}$ ,  $1/\sqrt{d}$ ,  $(\log(d))^2$ ,  $\log(d^2)$ ,  $h$ ,  $h^2$ ,  $1/h$ ,  $\log(h)$ ,  $\sqrt{h}$ ,  $(\log(h))^2$ ,

$dh$ ,  $d^2h$ ,  $dh^2$ ,  $\log(d^2h)$ ,  $\log(d) \cdot \log(h)$ ,  $\log(d) \cdot h$ ,  $(\log(d))^2 \cdot h$ ,  $(\log(d))^2 \cdot \log(h)$ ,  $(\log(d))^2 \cdot (\log(h))^2$ ,  $\log(d^2) \cdot h$ ,  $\sqrt{d} \cdot h$ ,  $d^2h^2$ . Entre estes modelos estão alguns muito conhecidos e utilizados como a equação de variável combinada (SPURR, 1952), modificada (MEYER, s.d.), compre-

ensiva, (MEYER, s.d.), australiana (STOATE, 1945), logarítmica combinada (SPURR, 1952) entre outros.

No Quadro 2 estão representados os modelos candidatos, por apresentarem um  $R^2_{aj}$  elevado e por satisfazerem os requisitos apresentados na metodologia.

**Quadro 2 - Modelos candidatos**

Identificador	Modelo	Referência
v01	$v = \alpha + \beta_1 \cdot d^2 \cdot h$	Spurr (1952), segundo Deusen (1981) e Burkhardt (1977), variável combinada i) a) a) a) a) a) a) a) a) a) ii) b) b) b) Shumacher e Hall (1933) segundo Clutter <i>et al.</i> (1980) Honer (1965), segundo Burkart (1997) Ogaya (1968), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973) Takata (s.d.), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973) Berkhout (s.d.) segundo Husch (1963)
v02	$v = \alpha + \beta_1 \cdot dh^2 + \beta_2 \cdot d^2$	
v03	$v = \alpha + \beta_1 \cdot d^2h + \beta_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{d}}$	
v04	$v = \alpha + \beta_1 \cdot \sqrt{d} \cdot h + \beta_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{d}} + \beta_3 \cdot d^2$	
v05	$v = \alpha + \beta_1 \cdot h^2 + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{d}}$	
v06	$\log(v) = \alpha + \beta_1 \cdot (\log(h))^2 + \beta_2 \cdot \log(d)$	
v07	$\log(v) = \alpha + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot \log(d)$	
v08	$\log(v) = \alpha + \beta_1 \cdot (\log(h))^2 + \beta_2 \cdot (\log(d))^2 + \beta_3 \cdot d^2$	
v09	$\log(v) = \alpha + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot (\log(d))^2 + \beta_3 \cdot d^2$	
v10	$\log(v) = \alpha + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot (\log(d))^2 + \beta_3 \cdot d^2 \cdot h$	
v11	$v = e^{\alpha + \beta_1 \cdot (\log(h))^2 + \beta_2 \cdot \log(d)}$	
v12	$v = e^{\alpha + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot \log(d)}$	
v13	$v = e^{\alpha + \beta_1 \cdot (\log(h))^2 + \beta_2 \cdot (\log(d))^2}$	
v14	$v = e^{\alpha + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot (\log(d))^2}$	
v15	$v = \beta_1 \cdot d^{\beta_2} \cdot h_t^{\beta_3}$	
v16	$v = d^2 / (\alpha + \beta_1 / h)$	
v17	$v = d^2 \cdot (\alpha + \beta_1 \cdot h)$	
v18	$v = d^2h / (\alpha + \beta_1 \cdot d)$	
v19	$v = \beta_1 \cdot d^{\beta_2}$	

**Quadro 3** - Valores das estatísticas de ajustamento dos modelos lineares

	$R_{aj}^2$	<i>MPress</i>	<i>MAPress</i>	<i>MaxFiv</i>	<i>Ncond</i>
<i>v01</i>	0,9709	-0,00016	0,0115	1,0000	9,13
<i>v02</i>	0,9785	0,00028	0,0106	7,1612	140,93
<i>v03</i>	0,9754	0,00020	0,0106	2,2413	334,92
<i>v04</i>	0,9760	0,00031	0,0111	8,3881	984,91
<i>v05</i>	0,9777	0,00020	0,0108	5,0180	752,03
<i>v06</i>	0,9755	-0,00013	0,0107	3,2190	755,65
<i>v07</i>	0,9743	-0,00056	0,0110	2,9093	669,13
<i>v08</i>	0,9697	0,00105	0,0118	9,6222	835,05
<i>v09</i>	0,9691	0,00100	0,0118	8,8224	802,10
<i>v10</i>	0,9647	0,00115	0,0125	5,9852	541,39

O modelo *v14* é a forma não linear dos modelos *v09* e *v10* após a eliminação respectivamente das variáveis  $d^2$  e  $d^2h$ , uma vez que os intervalos de confiança dos  $\beta_i$  destas variáveis apresentaram o valor 0. O modelo *v11* é a forma não linear do modelo *v08* após a eliminação da variável  $d^2$  pelas mesmas razões.

A totalidade dos modelos lineares e não lineares considerados candidatos apresentam uma elevada capacidade preditiva da variável volume como demonstram os valores dos Quadros 3 e 4.

**Quadro 4** - Valores das estatísticas de ajustamento dos modelos não lineares

	$R_{aj}^2$	<i>MPress</i>	<i>MAPress</i>
<i>v11</i>	0,9779	0,00015	0,0104
<i>v12</i>	0,9787	-0,00006	0,0102
<i>v13</i>	0,9756	-0,00066	0,0112
<i>v14</i>	0,9759	-0,00086	0,0112
<i>v15</i>	0,9771	0,00031	0,0106
<i>v16</i>	0,9764	0,00056	0,0105
<i>v17</i>	0,9778	0,00042	0,0102
<i>v18</i>	0,9726	0,00075	0,0104
<i>v19</i>	0,9628	0,00026	0,0130

Procedeu-se à transformação das estatísticas dos modelos *v06* a *v10* em termos das unidades iniciais, por forma a permitir a comparação com as estatísticas

dos restantes modelos.

Na generalidade dos modelos o  $R_{aj}^2$  é superior a 0,96; o valor absoluto do *MPress* é inferior a 0,001 m<sup>3</sup> e o do *MAPress* inferior a 0,013 m<sup>3</sup>.

O método utilizado seriou, nos cinco primeiros lugares, os modelos *v12*, *v17*, *v11*, *v02* e *v05*. Destes o *v12* foi o que revelou melhor qualidade de ajustamento e o menor enviesamento. Os modelos *v12* e *v17* foram os mais precisos.

*Análise dos modelos pré-seleccionados por classe de diâmetro e de altura*

O modelo *v17* foi menos enviesado e mais preciso em duas classes de diâmetro na análise por classe de diâmetro (quadro 5).

De entre os modelos pré-seleccionados os *v05* e *v12* são menos enviesados e o *v02* mais preciso em duas das classes de altura consideradas (quadro 6).

No Quadro 7 estão representados os *SDifMPress* e *SDifMAPress* dos modelos pré-seleccionados. Verifica-se que o modelo *v17* é o menos enviesado e o terceiro mais preciso. O *v02* é o modelo mais preciso sendo, no entanto, o mais enviesado.

**Quadro 5** - Distribuição de *MPress* e *MAPress* dos modelos pré-seleccionados por classes de diâmetro\*

<i>MPress</i>				Modelo	<i>MAPress</i>			
$d \leq 12,5$	$]12,5 - 17,5]$	$]17,5 - 22,5]$	$d > 22,5$		$d \leq 12,5$	$]12,5 - 17,5]$	$]17,5 - 22,5]$	$d > 22,5$
0,00184	0,00107	-0,00512	0,00961	<i>v</i> 02	0,00613	0,00846	0,01682	0,01388
0,00115	0,00230	-0,00564	0,00772	<i>v</i> 05	0,00576	0,00828	0,01673	0,01743
-0,00173	0,00278	-0,00229	0,00365	<i>v</i> 11	0,00500	0,00930	0,01657	0,01251
-0,00238	0,00291	-0,00242	0,00334	<i>v</i> 12	0,00522	0,00956	0,01566	0,01115
-0,00024	0,00357	-0,00266	-0,00002	<i>v</i> 17	0,00460	0,00959	0,01565	0,01266

**Quadro 6** - Distribuição de *MPress* e *MAPress* dos modelos seleccionados por classe de altura\*

<i>MPress</i>				Modelo	<i>MAPress</i>			
$h \leq 9,0$	$]9,0 - 11,0]$	$]11,0 - 13,0]$	$h > 13,0$		$h \leq 9,0$	$]9,0 - 11,0]$	$]11,0 - 13,0]$	$h > 13,0$
0,01432	0,00999	0,01362	0,01837	<i>v</i> 02	0,01044	0,00641	0,01009	0,00776
0,00409	-0,00179	-0,00105	0,00119	<i>v</i> 05	0,00965	0,00808	0,01008	0,01651
0,00332	-0,00295	0,00195	0,00131	<i>v</i> 11	0,01022	0,00836	0,00840	0,01543
0,00196	-0,00299	0,00306	0,00083	<i>v</i> 12	0,00987	0,00845	0,00804	0,01489
0,00237	-0,00223	0,00226	0,00182	<i>v</i> 17	0,00873	0,00823	0,00900	0,01533

**Quadro 7** - Caracterização dos valores de *SDifMPress* e *SDifMAPress* dos modelos seleccionados\*

Modelo	<i>SDifMPress</i>		<i>TdifMPress</i>	Modelo	<i>SDifMAPress</i>		<i>TdifMAPress</i>
	<i>SDifdMPress</i>	<i>SDifhMPress</i>			<i>SDifdMAPress</i>	<i>SDifhMAPress</i>	
<i>v</i> 17	0,00572	0,00610	0,01183	<i>v</i> 02	0,022439	0,015039	0,037478
<i>v</i> 12	0,01486	0,00642	0,02128	<i>v</i> 12	0,007644	0,041264	0,048909
<i>v</i> 11	0,01366	0,00781	0,02147	<i>v</i> 17	0,011234	0,041412	0,052646
<i>v</i> 05	0,02640	0,00497	0,03138	<i>v</i> 11	0,014814	0,045892	0,060706
<i>v</i> 02	0,02805	0,010134	0,12939	<i>v</i> 05	0,034026	0,053519	0,087545

Seleccionou-se por fim o modelo *v*12 uma vez que foi o segundo menos enviesado e segundo mais preciso de entre os modelos pré-seleccionados. Desta forma, este modelo demonstrou ter o comportamento mais uniforme, além de ter sido o que atingiu a melhor pontuação na caracterização total.

#### Exemplo prático da aplicação do modelo

Se bem que adequado apenas à "estação" florestal para a qual foi desenvolvido – O Núcleo Florestal da Oitava, Serra da Lousã, terá este modelo também a sua utilidade na estimativa de volumes totais noutros locais na região, sendo que, para estes, se deve fazer dele

um uso mais acautelado. Melhor será validá-lo a partir de dados reais daqueles outros.

Tendo em conta estes aspectos, temos de considerá-lo uma ferramenta importante na gestão correcta dos pinhais do interior centro. Por isso fazemos aqui algum esforço no sentido de apresentar as formas gráfica e tabelada do modelo, por forma a facilitar a sua utilização.

Para além das restrições já referidas quanto ao local da utilização, há também que sublinhar que o modelo é teoricamente aplicável ao leque de variação das variáveis  $d$  (5 a 30 cm) e  $h$  (3 a 17 m) para que foi desenvolvido. Por isso, qualquer utilização fora destes limites deverá ser alvo de algumas reservas.

Na Figura 1 apresenta-se um conjunto de curvas de estimação do volume da árvore individual em função de  $h$  (m) para cada um dos valores centrais das classes de  $d$  disponíveis na amostra e aqui considerados. Este gráfico possibilita uma avaliação da ordem de grandeza do volume total.

O Quadro 8 apresenta uma tabela de dupla entrada que estima os volumes individuais exactos em  $m^3$  a partir dos  $d$  (cm) e  $h$  (m).

Os volumes individuais das árvores assim estimados deverão ser alvo de um

somatório sempre que se pretenda obter o volume em pé de um determinado lote.

## Conclusões

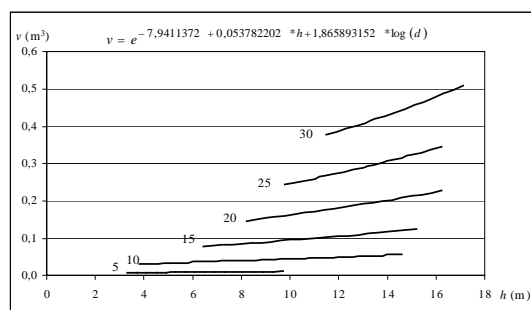
Nenhum dos modelos pré-seleccionados para a caracterização do enviesamento e da precisão por classes de diâmetro e de altura se destacou nitidamente dos restantes. Contudo, da análise dos *TDifMPress* e *TDifMAPress* conclui-se que o modelo  $v12$  é segundo menos enviesado e o segundo mais preciso (Quadro 7) para além de ser o modelo com maior  $R_{aj}^2$  e menor *MPress* e o segundo menor *MAPress* (Quadro 4). A selecção final incidiu, pois, sobre este modelo.

A sua equação,

$$v = e^{-7,9411372 + 0,053782202 * h + 1,865893152 * \log(d)},$$

apresenta a altura total ( $h$ , em m) e o diâmetro à altura do peito ( $d$ , em cm) como variáveis independentes, e permite estimar o volume da árvore ( $v$  em  $m^3$ ).

A análise gráfica do volume da árvore individual em função da altura (Figura 1) permite concluir que o declive da relação exponencial aumenta à medida que se consideram classes de diâmetros superiores. Portanto, a iguais variações unitárias da altura correspondem aqui aumentos mais acentuados de volume individual.



**Figura 1** - Relação volume-altura para o modelo seleccionado



**Quadro 8** - Tabela de dupla entrada - volume (m<sup>3</sup>) em função da altura total (m) e do valor central da classe de diâmetro (cm)

<i>h</i> \ <i>d</i>	5	10	15	20	25	30
3	0,00842					
4	0,00889	0,03240				
5	0,00938	0,03419				
6	0,00990	0,03608				
7	0,01045	0,03807	0,08113			
8	0,01102	0,04018	0,08561	0,14644		
9	0,01163	0,04240	0,09034	0,15453		
10		0,04474	0,09533	0,16307	0,24728	
11			0,10060	0,17208	0,26094	0,36668
12			0,10616	0,18158	0,27536	0,38694
13			0,11202	0,19162	0,29058	0,40832
14			0,11821	0,20221	0,30663	0,43088
15			0,12475	0,21338	0,32357	0,45469
16				0,22517	0,34145	0,47982
17						0,50633

**Bibliografia**

- ALEGRIA, C.M., 1993. *Predição do volume total, volumes mercantis, perfil do tronco e sistemas de equações compatíveis para a Pinus pinaster Aiton. no distrito de Castelo Branco*. Tese de mestrado. ISA/UTL.
- BURKART, H.E., 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top diameter. *So. J. Appl. For.* **1**(2) : 7-9.
- CLUTTER, J.L., 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *For. Sci.* **26** : 117-120.
- LOETSCH, F., ZOHRER, F., HALLER, K.E., 1973. *Forest Inventory*. Vol. II. BVL Verlagsgesellschaft mbH, Munchen.
- TOME, J.A.L., 1990. *Estimação do volume total, de volumes mercantis e modelação do perfil do tronco em Eucalyptus globulus Labill.* Tese de mestrado. ISA/UTL.
- SPURR, S.H., 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Company. New York.
- STOATE, T.N., 1945 The use of a volume equation in pine stands. *Aust. For.* **9** : 48-52.

Entregue para publicação em Dezembro de 2001  
 Aceite para publicação em Junho de 2003

i) Modelos gerados pelo algoritmo de todas as regressões possíveis disponíveis no procedimento PROC REG do SAS que satisfizeram os requisitos.

ii) Formas não lineares dos modelos logaritmos apresentados.

\* A sombreado indica-se, para cada classe, o melhor modelo